

Článek: Dopady možných změn klimatu a využití území v semiaridních oblastech: Případová studie ze severovýchodní Brazílie

Autoři: Suzana Montenegro, Ragab Ragab

Shrnutí:

Článek kombinuje hydrologická pozorování a výstupy modelů v semiaridních povodích v Brazílii za účelem lepšího pochopení hydrologie těchto oblastí. Pro studii bylo zvoleno povodí řeky Tapacurá (470,5 km²) v severovýchodní Brazílii a pro tuto řeku byl kalibrován a ověřen vybraný model DiCaSM (Distributed Catchment Scale Model). Chování modelu bylo dále testováno srovnáním simulované a pozorované míry vlhkosti půdy. Výsledky tohoto testu prokázaly schopnost modelu simulovat soustředěný povrchový odtok i míru vlhkosti půdy. Simulované dopady klimatické změny pro nízko-emisní scénář B1 ukázaly, že v nejhorším možném případě se v jednotlivých časových horizontech 2010-2039, 2040-2069 a 2070-2099 sníží doplňování zásob podzemní vody o 13,90 %, 22,63 % a 32,91 % a soustředěný povrchový odtok klesne o 4,98 %, 14,28 % a 20,58 %. Dopadem těchto změn by byl vážný nedostatek zásob vody v daném regionu. Při změně využívání krajiny, například znovuzalesněním částí povodí, které jsou momentálně zemědělskými plochami, může být dosaženo poklesu doplňování zásob podzemních vod pouze o 4,2 % a soustředěného povrchového odtoku o 2,7 %. Pěstováním cukrové třtiny namísto zeleniny klesne doplňování zásob podzemních vod o téměř 11 % a soustředěný povrchový odtok se zvýší o 5 %. Kombinace možných dopadů klimatické změny a změn ve využití krajiny vyžadují patřičný plán pro nakládání s vodními zdroji, který bude zahrnovat strategie pro zmírnění těchto dopadů.

1. Úvod:

Severovýchodní Brazílie disponuje pouhými 3 % celkových brazilských zdrojů vody; a z důvodu prudkého populačního rozvoje tato oblast v současnosti zaznamenává vzrůstající nedostatek vodních zdrojů. Někteří autoři odhadují, že z důvodu klimatické změny poklesnou do roku 2050 tamější zásoby podzemní vody o více než 70 %. Dopadům klimatických změn na semiaridní oblasti Brazílie však dle autora článku není věnována dostatečná pozornost. Tyto oblasti jsou charakteristické nepředvídatelnými a nevyrovnanými dešťovými srážkami, které někdy vedou k povodním; a občasnými vodními toky. Studie si klade za cíl prozkoumat vhodnost použití DiCaSM modelu povodí pro kvantifikaci komponentů hydrologické bilance s použitím dat o soustředěném povrchovém odtoku a půdní vlhkosti; a také studium dopadů různých klimatických scénářů a změn ve využívání území na dostupnost zdrojů vody.

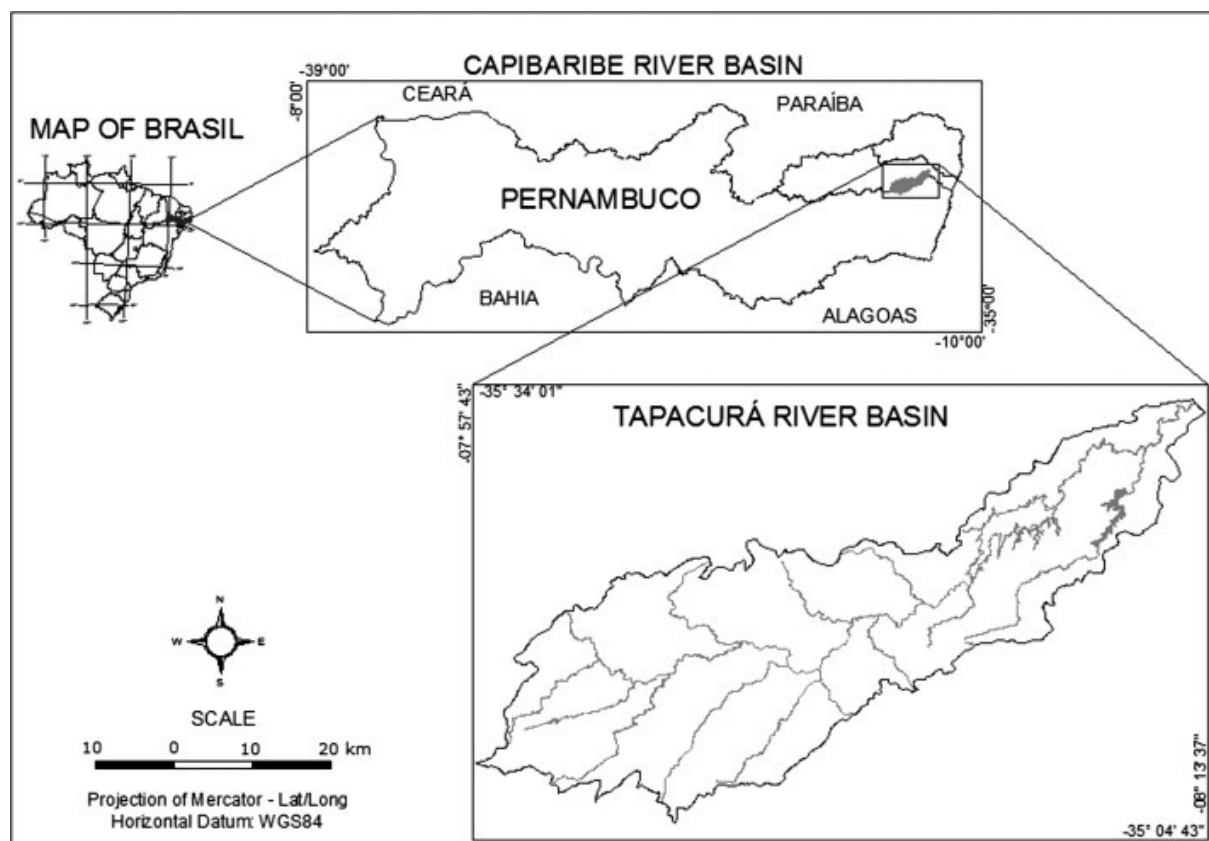
2. Lokalita studie

2.1. Lokace a obecný popis území

Povodí řeky Tapacurá se nachází v severovýchodní Brazílii, ve státě Pernambuco (přibližně 8° j. š. a 35° z. d.). Plocha povodí je 470,5 km²; řeka Tapacurá je dlouhá 72,6 km, vlévá se do řeky Capibaribe a má 12 přítoků, z nichž mnoho je občasných.

Na řece Tapacurá jsou vybudovány dvě umělé vodní nádrže, které hrají významnou roli v ochraně regionu před povodněmi. Řeka Tapacurá je také významným zdrojem vody pro stát Pernambuco a jeho hlavní město Recife; avšak spolu se zdroji podzemní vody řeka pokrývá pouze část regionálních nároků na vodu.

Dle Köppena je klima tohoto regionu teplé a humidní, průměrný roční srážkový úhrn v periodě 1921 – 2001 je 1098 mm; z čehož 70 % spadne v období od března do června. Nejsuššími měsíci jsou říjen, listopad a prosinec. Průměrné teploty vzduchu se pohybují od 23,7 °C v červenci po 27 °C v lednu.



Obr. 1: Mapa Brazílie, státu Pernambuco a povodí řek Capibaribe a Tapacurá

2.2. Charakteristiky povodí

Nadmořská výška povodí se pohybuje v rozmezí 45 – 600 m n. m. Původní vegetací je atlantický deštný les, který byl však v průběhu 20. století z velké části vykácen. Místy je zachována semiaridní vegetace, místně nazývaná caatinga (trnitá savana). Většina území povodí je však dnes využívána pro zemědělskou malovýrobu, pastvu dobytka a drůbežnictví. Zemědělci většinou pěstují základní potraviny, ovoce a zeleninu na polích menších než 10 ha (obvykle okolo 1 – 5 ha); na větších oblastech se pěstuje cukrová třtina. Půdy v povodí jsou charakteristické nízkou infiltrační kapacitou a tedy vysokým povrchovým odtokem.

2.3. Dostupnost dat

Povodí řeky Tapacurá je vybaveno třemi srážkoměry; data o průtoku byla získána z měrných křivek průtoku dvou měrných profilů. V povodí je rovněž instalována meteorologická stanice, která zaznamenává klimatická data, včetně maximální a minimální teploty vzduchu, relativní vlhkosti vzduchu, globálního záření a rychlosti větru. Vzhledem k poměrně malé variabilitě těchto faktorů v povodí byla data z jedné meteorologické stanice považována za dostačující. Tato data jsou dostupná pro roky 1970, 2000 a periodu 2004-2007. Půdní vlhkost byla měřena ve 20 a 40 cm hloubce sondami s technologií TDR (princip podobný radaru).

3. Modelování

3.1. Použitý model

Model DiCaSM byl vyvinut pro odhad hydrologické bilance v povodí řek a pro odhad vlivu klimatických změn a změn ve využití půdy na hydrologickou bilanci povodí. Model je založen na fyzikálních principech a může vypočítat charakteristiky, jako je půdní vlhkost, soustředěný povrchový odtok nebo doplňování zásob podzemní vody pro každou jednotku povodí (většinou čtverce o ploše 1km^2).

3.2. Vstupy do modelu

Povodí řeky Tapacurá bylo rozděleno do čtverců o ploše 1 km^2 . Pro každou z těchto buněk byl charakterizován půdní typ, využití území a denní srážkové úhrny. Byla zohledněna řada parametrů jako například: textura půdy, obsah organické hmoty, půdní vlhkost, bod vadnutí a hydraulická vodivost v nasyceném stavu; dále index listové plochy (pokryvnost listoví), hloubka prokořenění, výška vegetace a odrazivost (tyto charakteristiky byly definovány pro deštný les, trnitou savanu, trvalé travní porosty a pro zemědělské plodiny). Intercepce různých typů vegetace byla rovněž zohledněna. Hodnoty evapotranspirace byly vypočítány s použitím meteorologických dat.

3.3. Proces kalibrace, verifikace a zhodnocení chování modelu

Použitý model je založen na fyzikálních procesech, jejichž parametry mění se v závislosti na půdním typu, využití území a dalších specifických charakteristikách území. Kalibrace těchto parametrů byla provedena na základě soustředěného povrchového odtoku (použití dat z roku 1970). Verifikace modelu byla provedena s použitím druhé části odtokových charakteristik z roku 1970, ale i s použitím dat z jiných let. Další verifikační test byl proveden na základě porovnání časové řady půdní vlhkosti s modelovanou půdní vlhkostí.

3.4. Zjišťování dopadů klimatické změny

Modelování možných efektů klimatické změny vzalo do úvahy možné změny v teplotách vzduchu a srážkových úhrnech v povodí. Byly použity dva klimatické scénáře (podle IPCC): nízký (B1) a vysoký (A2). Scénář A2 počítá s výraznými regionálními rozdíly v ekonomickém rozvoji a s vysokým celkovým populačním růstem. Scénář B1 bere do úvahy zmírnění populačního růstu i regionálních rozdílů a implementaci udržitelných a nízko-emisních technologií. Oba modely předpovídají ve studovaném regionu zvýšení teploty vzduchu; scénář B1 předpovídá snížení srážkových úhrnů, zatímco scénář A2 předvídá jejich zvýšení. Pro modelování byly vybrány tři časové periody: 2010 – 2039; 2040 – 2069; a 2070 – 2099. V tabulce č. X jsou zaznamenány změny teploty a srážkových úhrnů v suchém a vlhkém období roku pro oba scénáře a tři vybrané časové periody:

Tabulka č. X – změny teplotních a srážkových úhrnů v severovýchodní Brazílii podle různých klimatických scénářů pro suchou a vlhkou část roku pro 3 vybraná období (v porovnání s periodou 2004 – 2007)

Období	Scénář	Suché období		Vlhké období	
		Teplota (°C)	Srážky (mm)	Teplota (°C)	Srážky (mm)
2010 - 2039	B1	+3	-18	+2	-1
	A2	+3	+28	+2	+4
2040 - 2069	B1	+3	-28	+2	-5
	A2	+3	+52	+2	+4
2070 - 2099	B1	+3	-45	+2	-5
	A2	+3	+20	+2	+5

3.5. Zjišťování dopadů změny využití půdy

Dle analýzy situace v povodí je možné, že část území (pro modelování bylo použito 841 ha) bude v nadcházejícím období znovu zalesněna; což je přírůstek lesních ploch o 133,3 % v porovnání s dneškem. Druhý použitý scénář počítá s budoucím pěstováním cukrové třtiny na území, kde je v dnešní době pěstována zelenina.

4. Výsledky modelování

4.1. Kalibrace a verifikace modelu: soustředěný povrchový odtok

Soustředěný povrchový odtok vypočtený pomocí modelu DiCaSM je ovlivněn pěti parametry: množstvím vody infiltrující (unikající) do podloží toku (0 %), procentem odtoku soustředěného do toků (40 %), exponenciální funkcí odtoku soustředěného do toků (0,8), koeficientem zpoždění ukládání vody v povodí (0,24) a koeficientem zpoždění ukládání vody do toků (0,03). Jejich hodnoty byly vypočteny pomocí algoritmu, který je založen na metodě nejmenších čtverců, a jejich nejlepší kombinace je uvedena v závorkách. Model s těmito parametry byl následně validován a při porovnání jeho výstupů s naměřenými daty bylo potvrzeno, že je schopen odtokové poměry v povodí dobře simulovat v krátkodobém měřítku, avšak poměrně dobře i v měřítku dlouhodobém. Důvodem poměrně nižší spolehlivosti modelování pro delší časové horizonty je již výše zmíněná extrémní nevyrovnanost vodního režimu řek v semiaridních oblastech.

4.2. Citlivost soustředěného povrchového odtoku vůči parametrům modelu

Pro kalibraci modelu je důležité znát jeho citlivost (velikost změny výsledné hodnoty) vůči jeho jednotlivým parametrům. Po provedení analýzy, při které byly do modelu zadávány různé hodnoty parametrů, byly tyto seřazeny od nejvíce (1) po nejméně (5) důležitého. Významnost jednotlivých parametrů je: koeficient zpoždění ukládání vody do toků (1), koeficient zpoždění ukládání vody v povodí (2), množství vody infiltrující (unikající) do podloží toku (3), procento odtoku soustředěného do toků (4) a exponenciální funkce odtoku soustředěného do toků (4).

4.3. Validace modelu: půdní vlhkost, index vlhkosti (WI)

Index vlhkosti (WI), který udává míru půdní vlhkosti, byl nasimulován a porovnán s empirickými hodnotami získanými pomocí technologie TDR. Bylo zjištěno, že je vhodným nástrojem k určení vlhkosti / sucha v povodí. Je-li povodí provlhčeno (WI blízké 1), jakékoliv srážky vytvoří pouze povrchový odtok, který skončí v nádržích. Naopak, je-li v povodí sucho (WI blízké 0), jakékoliv srážky budou nejprve doplňovat nedostatek půdní vláhy a teprve poté vytvářet povrchový odtok. Tento index je velice přínosný pro správce vodních nádrží.

5. Dopady budoucích změn klimatu

Dopad změn klimatu byl prozkoumán pomocí modelu DiCaSM, který se nechal běžet v rámci výše uvedených scénářů. Simulované dopady klimatické změny pro nízko-emisní scénář B1 ukázaly, že v nejhorším možném případě se v jednotlivých časových horizontech 2010-2039, 2040-2069 a 2070-2099 sníží doplňování zásob podzemní vody o 13,90 %, 22,63 % a 32,91 % a soustředěný povrchový odtok klesne o 4,98 %, 14,28 % a 20,58 %. Zbylé tři scénáře vedly ke zvýšení doplňování zásob podzemní vody. Avšak nejistota těchto scénářů by měla být brána v potaz.

6. Diskuze

Přestože pro kalibraci a validaci modelu DiCaSM byly k dispozici pouze časové řady pro soustředěný povrchový odtok a půdní vlhkost, model byl testován při použití dat o průtoku ze dvou lokalit a míry půdní vlhkosti z třetí lokality. Výsledky prokázaly schopnost modelu předpovědět hydrologické charakteristiky semiaridního povodí i přes heterogenitu půdního pokryvu a vegetace, stejně jako významné rozdíly ve velikosti odtoku během roku. Navzdory problémům s omezeným množstvím dat byl model schopen dobře reprezentovat hydrologické odezvy v povodí.

Použité klimatické scénáře byly rozděleny do dvou skupin – nízkoemisní (B1), se kterou je spojen pokles soustředěného povrchového odtoku i doplňování zásob podzemní vody, a vysokoemisní (A2), která naopak předpokládá růst obou těchto charakteristik. Avšak současné i minulé zkušenosti napovídají, že pravděpodobnější je první varianta.

7. Závěr

Studie, provedená pomocí modelu DiCaS, byla vypracována na semiaridním povodí v Brazílii za účelem zvýšení porozumění hydrologii těchto oblastí. Vzhledem k povaze semiaridních oblastí (vzácné srážky s velkou proměnlivostí v roce) byl model schopen dobře simulovat hydrologii povodí řeky Tapacurá.

Dále byly brány v potaz změny klimatu a využití krajiny, které byly také simulovány. Jako pravděpodobnější byl určen nízkoemisní scénář B1, v jehož rámci by mělo v povodí dále docházet k poklesu soustředěného povrchového odtoku i doplňování zásob podzemní vody. Výsledky také naznačily, že pokud dojde k nahrazení zeleniny pěstováním cukrové třtiny, mohlo by to vést k dalšímu snížení doplňování zásob podzemní vody a naopak k nárůstu soustředěného povrchového odtoku.

Použití takto robustního modelu jako je DiCaSM, kalibrovaného a validovaného na lokální klima a využití půdy, pro analýzu reakcí hydrologických procesů na změnu klimatu a využití půdy může přispět k lepšímu pochopení hydrologického cyklu semiaridních povodí a napomoci k plánování lepšího sběru dat, monitoringu a lepší správě vodních zdrojů.

Slovník:

semi-arid	semiaridní (polopouštní)
drought	sucho
water resource	zdroj vody
scarcity	nedostatek
ephemeral river	občasný vodní tok
streamflow	soustředěný povrchový odtok
soil moisture	půdní vlhkost
staple food	základní potraviny
irrigation	zavlažování
surface runoff	povrchový odtok
rain gauge	srážkoměr
stage-discharge rating curve	měrná křivka průtoku
wilting point	bod vadnutí
ground water	podzemní voda
stream flow	soustředěný povrchový odtok
groundwater recharge	doplňování zásob podzemní vody
mitigation strategies	strategie pro zmírnění dopadů (např. klimatické změny)
saturation	nasycenost
hydraulic conductivity	hydraulická vodivost
water content	obsah vody
field capacity	půdní kapacita (množství vody v půdě po odtoku přebytečné vody díky gravitaci atp.)
evaporation	výpar